

Rec'd ST/PTO 02 MAY 2005

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有權機關  
國際事務局



(43) 国際公開日  
2004年7月8日(08.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
**WO 2004/057625 A1**

- (51) 国際特許分類7: G21K 1/00, H05H 1/24

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016402

(22) 国際出願日: 2003年12月19日 (19.12.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2002-370441  
2002年12月20日 (20.12.2002) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.)  
[JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の  
1 Shizuoka (JP).

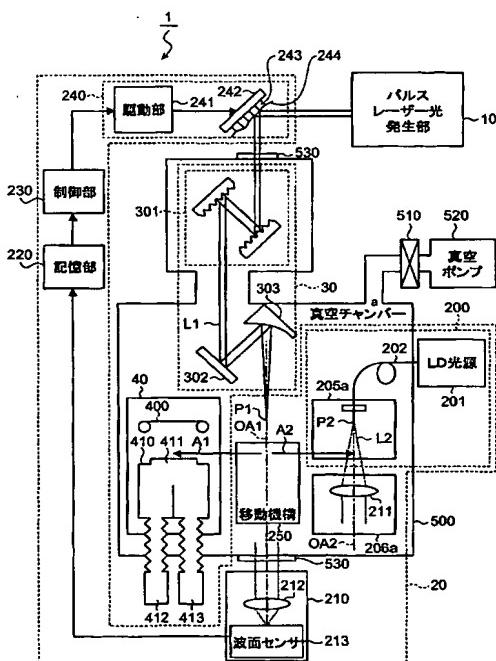
- (72) 発明者; および  
(73) 発明者/出願人(米国についてのみ): 高橋 宏典 (TAKA-HASHI,Hironori) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 井上 卓 (INOUE,Takashi) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 大須賀 慎二 (OHSUKA,Shinji) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 土屋 裕 (TSUCHIYA,Yutaka) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA,Yoshiki et al.); 〒104-0061 東京都 中央区 銀座一丁目10番6号 銀座ファーストビル 創英國際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(有葉繞)

**(54) Title: METHOD FOR GENERATING HIGH-SPEED PARTICLE AND SYSTEM FOR GENERATING HIGH-SPEED PARTICLE**

(54) 発明の名称: 高速粒子発生方法及び高速粒子発生装置



- 10...PULSE LASER LIGHT GENERATING SECTION
- 241...DRIVING SECTION
- 230...CONTROL SECTION
- 220...STORAGE SECTION
- 213...WAVE FRONT SENSOR
- 250...MOVING MECHANISM
- 201..LD LIGHT SOURCE
- 520...VACUUM PUMP
- a...VACUUM CHAMBER

**(57) Abstract:** A method for generating high-speed particles efficiently from a high-speed particle generating target by condensing a pulse laser light at a micro spot on the surface of the high speed-particle generating target. The method for generating high-speed particles by condensing a pulse laser light generated from a pulse laser light generator at a specified condensing point through an irradiation optical system, and irradiating a high-speed particle generating target set at the specified condensing point with the pulse laser light, comprises a first step for providing reference data, a second step for measuring the wave front of the pulse laser light, and a third step for compensating the wave front of the pulse laser light based on the reference data.

(57) 要約：この発明は、パルスレーザー光を高速粒子発生ターゲット面の微小さなスポットに集光させることにより、該高速粒子発生ターゲットから高速粒子を効率良く発生させるための高速粒子発生方法等に関する。当該高速粒子発生方法は、パルスレーザー光発生器から発せられたパルスレーザー光を照射光学系を介して所定の集光ポイントに集光し、該所定の集光ポイントにセットされた高速粒子発生ターゲットに該パルスレーザー光を照射することにより高速粒子を発生させる方法であって、基準データを用意する第1ステップと、パルスレーザー光の波面を計測する第2ステップと、基準データに基づいてパルスレーザー光の波面を補償する第3ステップとを備える。



(81) 指定国(国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッ

パ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

### 高速粒子発生方法及び高速粒子発生装置

#### 技術分野

【0001】この発明は、パルスレーザー光を高速粒子発生ターゲットに照射することにより該高速粒子発生ターゲットから高速粒子を発生させる高速粒子発生方法及び高速粒子発生装置に関するものである。

#### 背景技術

【0002】パルスレーザー光を高速粒子発生ターゲットに照射して高速粒子を発生させる高速粒子発生装置では、効率良く高速粒子を発生させるため、ターゲット面の微小なスポットにレーザー光を集光させる必要がある。しかしながら、高強度なレーザー光は、出力されるレーザー光自体がすでに歪んでいる場合が多く、また、伝搬中に生じる波面の乱れによりビーム径が拡がるほか、高強度なレーザー光による光学系の熱変形によっても波面が歪み、結果として集光点（集光する位置）におけるレーザー光のスポット径が小さくならない場合がある。

【0003】従来、レーザー光を微小なスポットに集光することにより光強度を高めるため、該レーザー光の波面を揃える波面補償制御が行われている。例えば、Katsuaki Akaoka et al., 「Closed loop wavefront correction of Ti:sapphire Chirped Pulse Amplification laser beam」, SPIE, Vol. 326 5, 29 - 30. January. 1998, p. 219 - 225 には、高強度レーザーの光路中にHe-Neレーザーを基準光源として設置し、この基準光源から出力されたレーザー光の波面を波面センサで計測し、その計測結果を基準波面として記憶し、チタンサファイアレーザーからのレーザー光の波面がこの基準波面と一致するようにレーザー光の波面を補償する技術が開示されている。

#### 発明の開示

【0004】発明者らは、上述のような従来技術について検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、上記文献に記載された波面補償方法では、

集光位置（通常は光学系の焦点に集光する）におけるレーザー光のスポット径（光の広がり範囲の外径）を十分に小さくすることができず、結果的に十分な光強度を得ることができない。そのため、従来の波面補償方法では高速粒子を効率良く発生させることができないという課題があった。

5       【0005】 この発明は上述のような課題を解決するためになされたものであり、パルスレーザー光を高速粒子発生ターゲット面の微小なスポットに集光させることにより、該高速粒子発生ターゲットから高速粒子を効率良く発生させるための構造を備えた高速粒子発生方法及び高速粒子発生装置を提供することを目的としている。

10      【0006】 この発明に係る高速粒子発生方法は、パルスレーザー光発生器から発せられたパルスレーザー光を照射光学系を介して所定の集光ポイントに集光し、該集光されたパルスレーザー光を所定の集光ポイントにセットされた高速粒子発生ターゲットに照射し、該セットされた高速粒子発生ターゲットから高速粒子を発生させる。特に、当該高速粒子発生方法は、基準波面に関する情報を記録する第1ステップと、パルスレーザー光の波面を測定する第2ステップと、記録された基準波面に関する情報に基づいて測定されたパルスレーザー光の波面を補償する第3ステップとを備える。なお、上記第1ステップは、所定の集光ポイントから基準光を照射し、該基準光の波面を波面計測器により計測し、この計測された波面を基準波面として記憶する。上記第2ステップは、パルスレーザー光発生器から発せられ所定の集光ポイントを通過したパルスレーザー光の波面を波面計測器により計測する。上記第3ステップは、パルスレーザー光発生器から発せられたパルスレーザー光の波面を、第1ステップにおいて記録された基準波面に基づいて補償する。

20      【0007】 上述のような高速粒子発生方法（この発明に係る高速粒子発生方法）によれば、高速粒子発生ターゲットがセットされるべき所定の集光ポイントから発せられた基準光の波面が計測されて基準波面情報として記憶される一方、

パルスレーザー光発生器から発せられ上記所定の集光ポイントを通過したパルス  
レーザー光の波面が計測され、そして、パルスレーザー光発生器から発せられた  
パルスレーザー光の波面が基準波面に基づいて補償される。これにより、パルス  
レーザー光は、上記所定の集光ポイントにおいて微小なスポットに集光され、結  
5 果として該所定の集光ポイントにセットされる高速粒子発生ターゲットに照射さ  
れることにより、該高速粒子発生ターゲットから高速粒子を効率良く発生させる  
ことが可能になる。

【0008】一方、この発明に係る高速粒子発生装置は、ターゲット部と、パ  
ルスレーザー光発生器と、波面補償部と、照射光学系とを備える。特に、上記タ  
10 ゲット部は、高速粒子発生ターゲットを所定位置に保持する。また、高速粒子  
発生ターゲットは、パルスレーザー光の照射により生成されたレーザープラズマ  
により高速粒子を発生させる。上記レーザー光発生器は、パルスレーザー光を發  
生する。上記波面補償器は、パルスレーザー光の波面を補償する。上記照射光学  
系は、高速粒子発生ターゲット波面補償部により波面補償されたパルスレーザー  
15 光を所定の集光ポイントに集光する。特に、この発明に係る高速粒子発生装置に  
おいて、上記波面補償部は、可変形光学系と、基準光源と、波面計測器と、記録  
部と、可変形光学系制御部と、移動機構とを備えるのが好ましい。上記可変形光  
学系は、パルスレーザー光を反射あるいは屈折させる光学素子の光学作用部が変  
形可能に構成されている。上記基準光源は、上記所定の集光ポイントから基準光  
20 を発する。上記波面計測器は、基準光の波面及び所定の集光ポイントを通過した  
パルスレーザー光の波面をそれぞれ計測する。上記記録部は、波面計測器により  
計測された基準光の波面を基準波面として記憶する。上記可変形光学系制御部は、  
波面計測器により計測された基準波面及びパルスレーザー光の波面に基づいて光  
25 学作用部を変形させることにより、パルスレーザー光の波面を補償する。上記移  
動機構は、基準光の照射位置が集光ポイントに一致するよう基準光源を移動させ  
るか、あるいは、高速粒子発生ターゲットが該集光ポイントを含む平面に位置す

るようターゲット部を移動させる。

【0009】 上述のような構造を備えた高速粒子発生装置（この発明に係る高速粒子発生装置）によれば、所定の集光ポイント（高速粒子発生ターゲットがセットされるべき位置）から基準光源によって発せられた基準光の波面が基準波面として記憶部により記憶される。そして、パルスレーザー光発生器から発せられて集光ポイントを通過したパルスレーザー光の波面も計測される。このパルスレーザー光の波面と記憶部に記憶されている基準波面とに基づいて光学素子の光学作用部が可変形制御されることにより、パルスレーザー光の波面が補償される。  
したがって、移動機構が、集光ポイントを含む平面上に高速粒子発生ターゲットが位置するよう、ターゲット部を移動させることで、微小なスポットに集光させたパルスレーザー光を照射することができ、該高速粒子発生ターゲットから高速粒子を効率良く発生させることができる。

【0010】 さらに、この発明に係る高速粒子発生装置において、上記波面補償部は、可変形光学系と、基準光生成部と、波面計測器と、記憶部と、可変形光学系制御部と、移動機構とを備えてもよい。上記可変形光学系は、パルスレーザー光を反射または屈折させる光学素子の光学作用部が変形可能に構成されている。上記基準光生成部は、パルスレーザー光が通過することにより所定の集光ポイントから基準光を発するピンホールを有する。上記波面計測器は、基準光の波面及び所定の集光ポイントを通過したパルスレーザー光の波面をそれぞれ計測する。  
記憶部は、波面計測器により計測された基準光の波面を基準波面として記憶する。上記可変形光学系制御部は、波面計測器により計測されたパルスレーザー光の波面と基準波面とに基づいて光学作用部を変形させることにより、パルスレーザー光の波面を補償する。そして、上記移動機構は、基準光生成部及び高速粒子発生ターゲットそれぞれを所定の集光ポイントを含む平面上に移動させる。

【0011】 このような構造を備えた高速粒子発生装置によれば、所定の集光ポイント（高速粒子発生ターゲットがセットされるべき位置）から基準光生成部

によって発せられた基準光の波面が基準波面として記憶部により記憶される。そして、パルスレーザー光発生器から発せられて上記の集光ポイントを通過したパルスレーザー光の波面も計測されるので、このパルスレーザー光の波面と記憶部に記憶されている基準波面とに基づいて光学素子の光学作用部が可変形制御されることにより、パルスレーザー光の波面が補償される。したがって、所定の集光ポイントを含む平面上に高速粒子発生ターゲットが位置するよう、移動機構がターゲット部を移動させることで、微小なスポットに集光させたパルスレーザー光を照射することができ、該高速粒子発生ターゲットから高速粒子を効率良く発生させることができる。

【0012】 また、この発明に係る高速粒子発生装置において、高速粒子発生ターゲットが膜状のターゲット部材の表面に構成され、ターゲット部材にはパルスレーザー光を通過させる開放部及びピンホールが形成され、開放部を通過したパルスレーザー光の波面が波面計測器により計測されるのが好ましい。この場合、パルスレーザー光を通過させる開放部及びピンホールが高速粒子発生ターゲットと同一のターゲット部材に形成されているので、基準光の波面及びパルスレーザー光の波面それぞれの計測、パルスレーザー光の波面の補償を高い位置精度で行うことが可能になる。

【0013】 なお、この発明に係る各実施例は、以下の詳細な説明及び添付図面によりさらに十分に理解可能となる。これら実施例は単に例示のために示されるものであって、この発明を限定するものと考えるべきではない。

【0014】 また、この発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明から明らかになる。しかしながら、詳細な説明及び特定の事例はこの発明の好適な実施例を示すものではあるが、例示のためにのみ示されているものであって、この発明の思想及び範囲における様々な変形および改良はこの詳細な説明から当業者には自明であることは明らかである。

#### 図面の簡単な説明

【0015】 図1は、この発明に係る高速粒子発生装置における第1実施例の構成を示す図である。

【0016】 図2は、この発明に係る高速粒子発生方法の全体処理を示すフロー チャートである。

5 【0017】 図3は、基準波面計測処理における配置を示す図である。

【0018】 図4は、シャックハルトマン法の基本原理を説明するための図である。

【0019】 図5は、パルスレーザー光の波面補償処理における配置を示す図である。

10 【0020】 図6は、高速粒子発生処理における配置を示す図である。

【0021】 図7は、この発明に係る高速粒子発生装置における第2実施例の構成を示す図である。

【0022】 図8は、この発明に係る高速粒子発生装置における第3実施例の構成を示す図である。

15 【0023】 図9は、この発明に係る高速粒子発生装置に適用される基準光生成部の構成を示す図である。

【0024】 図10は、この発明に係る高速粒子発生装置における第4実施例の構成を示す図である。

20 【0025】 図11は、図10に示された第4実施例に係る高速粒子発生装置に適用される高速粒子発生ターゲットを示す図である。

【0026】 図12は、この発明に係る高速粒子発生装置における第5実施例の構成を示す図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

25 【0027】 以下、この発明に係る高速粒子発生方法及び高速粒子発生装置の各実施例を、図1～図12を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において

同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

(第1実施例)

【0028】 図1は、この発明に係る高速粒子発生装置における第1実施例の構成を示す図である。この図1に示されたように、第1実施例に係る高速粒子発生装置1は、パルスレーザー光発生部10と、波面補償部20と、照射光学系30と、ターゲット部40とを備える。なお、上記パルスレーザー光発生部10は、高ピークパワーのパルスレーザー光L1を発生する。上記波面補償部20は、パルスレーザー光L1の波面を補償する。上記照射光学系30は、パルスレーザー光L1を集光して照射する。そして、上記ターゲット部40は、パルスレーザー光L1の照射により高速粒子を発生させる要素を含む。

【0029】 上記パルスレーザー光発生部10は、例えば、波長800nm、パルス幅130fs、最大エネルギー200mJを有する高ピークパワーのパルスレーザー光L1を出力するチタンサファイアレーザー等が適している。また、パルスレーザー光発生部10は、再生増幅器とマルチパス増幅器を含む。

【0030】 波面補償部20は、このパルスレーザー光発生部10から出力されたパルスレーザー光L1の波面を補償し、この波面補償されたパルスレーザー光を照射光学系30に出力する。

【0031】 照射光学系30は、波面補償部20から入射したパルスレーザー光L1をパルス圧縮するグレーティング対301と、パルス圧縮されたパルスレーザー光L1を反射して軸はずし放物面鏡303に出力する反射鏡302と、反射鏡302により反射されて入射したパルスレーザー光L1を集光してターゲット部40に照射する軸はずし放物面鏡303とを備える。

【0032】 ターゲット部40は、高エネルギーの電子やイオンなどの高速粒子や高エネルギーの放射性同位元素などを生成する要素を含み、具体的には、高速粒子発生ターゲット400及び同位体生成部410を含む。高速粒子発生ターゲット400のターゲット表面では、パルスレーザー光L1が集光された状態で

照射されることによりレーザープラズマが生成され、このレーザープラズマから高エネルギー電子やイオンなどの高速粒子が生成される。なお、この高速粒子発生ターゲット400の詳細については後述する。

【0033】 同位体生成部410は、反応部411、材料供給部412及び生成物貯蔵部413を備える。材料供給部412は、放射性同位体生成材料を反応部411に供給する。反応部411は、高速粒子発生ターゲット400から生成された高速粒子をさらに材料供給部412から供給された放射性同位体生成材料に衝突させて原子核反応を起し、種々の放射性同位体を得る。生成物貯蔵部413は、反応部411で得られた放射性同位体を回収して貯蔵する。

【0034】 なお、ターゲット部40は、高速粒子発生ターゲット400を保持した状態で移動機構250によりパルスレーザー光L1の光軸OA1と垂直な矢印A1方向及び矢印A2方向に往復直線移動することができる。

【0035】 パルスレーザー光L1の波面を補償する波面補償部20は、可変形光学系240と、基準光源200と、コリメータ部206aと、波面計測部210と、記憶部220と、制御部（可変形光学系制御部）230と、移動機構250とを備える。上記可変形光学系240は、パルスレーザー光L1を反射させる形状可変鏡242の反射面244が変形可能に構成されている。上記基準光源200は、基準光L2を発生する。上記コリメータ部206aは、基準光L2及びパルスレーザー光L1それぞれを平行光線束にする。上記波面計測部210は、基準光L2及びパルスレーザー光L1それぞれの波面の計測を行う。上記記録部220は、基準光L2の波面を記憶する。上記制御部230は、基準光L2の波面とパルスレーザー光L1の波面とにに基づいてパルスレーザー光L1の波面を補償する。上記移動機構250は、基準光源部200、コリメータ部206a及びターゲット部40をそれぞれ移動させる。

【0036】 基準光源200は、基準光L2を出力する光学デバイスであり、LD（レーザーダイオード）光源201、単一モードの光ファイバ202及び基

準光出力部 205a を備える。LD光源 201 は、パルスレーザー光 L1 と略同一波長 (780~830 nm) のレーザー光 (基準光 L2) を発生する。单一モードの光ファイバ 202 は、LD光源 201 から発せられた基準光 L2 を出射ポイント P2 まで導くための光導波路である。基準光出力部 205a は、光ファイバ 202 によって導かれた基準光 L2 の出力ポイント P2 を移動させる要素であり、この基準光出力部 205a は、移動機構 250 により矢印 A1 及び A2 方向に往復直線移動することが可能になっている。

【0037】コリメータ部 206a は、コリメータレンズ 211 を含む。コリメータレンズ 211 は、基準光 L2 及びパルスレーザー光 L1 それぞれを平行な光線束にする光学要素。なお、このコリメータ部 206a は、移動機構 250 により矢印 A1 及び A2 方向に往復直線移動することが可能になっている。

【0038】波面計測部 210 は、基準光源部 200 から出力された基準光 L2 及びパルスレーザー光 L1 それぞれの波面を計測するべく、結像レンズ 212 及び波面センサ 213 を備える。結像レンズ 212 は、コリメータ部 206a から入射した基準光 L2 及びパルスレーザー光 L1 それぞれを波面センサ 213 上で結像させる光学要素である。また、波面センサ 213 は、基準光 L2 及びパルスレーザー光 L1 それぞれの波面を計測するデバイスであり、例えば、シャックハートマン型センサ等が適している。この波面センサ 213 の詳細については後述する。

【0039】なお、この波面計測部 210 は、移動機構 250 により基準光出力部 205a 及びコリメータ部 206a それぞれがパルスレーザー光 L1 の光路上に配置された状態で基準光 L2 の波面を計測し、コリメータ部 206a のみがパルスレーザー光 L1 の光路上に配置された状態でパルスレーザー光 L1 の波面を計測する。

【0040】記憶部 220 は、波面センサ 213 により計測された基準光 L2 の波面を基準波面として記憶するデバイスであり、例えば、ハードディスクや光

ディスク等が適している。

【0041】 制御部230は、波面計測部210により計測されたパルスレーザー光L1の波面と記憶部220に記憶されている基準波面とにに基づいて、パルスレーザー光L1の波面が基準波面と一致するように形状可変鏡242の反射面244の形状を変形することにより、パルスレーザー光L1の波面を補償する。この制御部230としては、例えば、コンピュータ等が適している。

【0042】 可変形光学系240は、パルスレーザー光L1を反射させる反射面244の形状が変形可能に構成された形状可変鏡242及び駆動部241を備える。形状可変鏡242は、薄い反射面244の下部に2次元的に配列されたアクチュエータ243を含み、このアクチュエータ243が駆動部241により駆動されることにより反射面244の形状が変形される。また、駆動部241は、制御部230からの制御データに応じてアクチュエータ243を駆動する。形状可変鏡242には、例えば、バイモルフ型のデフォーマブルミラー等が適している。

【0043】 移動機構250は、基準光出力部205a、コリメータ部206a及びターゲット部40それぞれを矢印A1及びA2方向に往復直線移動させる。

【0044】 なお、照射光学系30、高速粒子発生部40、光ファイバ202、基準光出力部205a、コリメータ部206a及び移動機構250は、ステンレス製などの真空チャンバー500内に収められている。真空チャンバー500には、ゲートバルブ510及び真空ポンプ520が接続されており、この真空ポンプ520により真空チャンバー500内が真空状態（約 $1 \times 10^{-3}$ Pa）に保持される。また、真空チャンバー500は、レーザー光を透過するため反射防止膜が施された石英製のビューポート530を有している。

【0045】 次に、図2を参照して、第1実施例に係る高速粒子発生装置1の動作について説明するとともに、この発明に係る高速粒子発生方法についても説明する。

5

【0046】ステップS100では、図3に示されたように、基準光出力部205a及びコリメータ部206aそれぞれが、基準光L2の光軸OA2とパルスレーザー光L1の光軸OA1とが一致するよう、矢印A1方向に移動機構250により移動させられる。このとき、基準光L2の出射ポイントP2は、パルスレーザー光L1の集光ポイントP1と一致する位置に配置される。

10

【0047】次に、パルスレーザー光L1と略同一波長の基準光L2がLD光源201により発せられ、光ファイバ202により出射ポイントP2へ導かれて出力される。この光ファイバ202から出力された基準光L2は、コリメータレンズ211により平行光束にされ、結像レンズ212により波面センサ上で結像されて波面センサ213によりその波面が計測される。

15

【0048】ここで、波面センサ213について説明する。図4に示されたように、例えば、シャックハルトマン法を利用した波面センサ213は、光学系の瞳位置にレンズアレイ601が配置されており、個々のレンズ602で生成された像をCCDカメラに取り込んで、それぞれのスポットの位置変化から波面の傾きを測定する。ここで、焦点スポットの位置変化は、入射波面mの局所的な傾きに依存する。そこで、全てのスポット位置の測定をすることにより入射波面mの傾斜が測定可能になる。

20

【0049】図2に戻って全体処理の説明を続けると、波面センサ213で計測された基準光L2の波面は、基準波面として記憶部220により記憶される。なお、この基準波面の計測データは、基準光源部200、コリメータ部206a及び波面計測部210それぞれの位置関係が一定であれば変化しない。よって、基準光L2の波面の計測は、上述の位置関係が変化しなければ、高速粒子の発生ごとに実施する必要はない。

25

【0050】次に、ステップS110では、移動機構250が基準光出力部205aを矢印A2方向に移動し、これにより基準光出力部205aがパルスレーザー光L1の光路上から外される。一方、図5に示されたようにコリメータ部2

0 6 a は、光路上に残される。さらに、パルスレーザー光 L 1 の入射により波面センサ 2 1 3 が破損することを防止するため、必要に応じて、ND フィルタ（減衰フィルタ） 2 1 5 がパルスレーザー光 L 1 の光路上に追加して配置される。

【0 0 5 1】 次に、パルスレーザー光発生部 1 0 からパルスレーザー光 L 1 が  
5 出力される。このパルスレーザー光 L 1 は、形状可変鏡 2 4 2 により反射され、  
グレーティング対 3 0 1 によりパルス圧縮された後、反射鏡 3 0 2 により反射さ  
れて軸はずし放物面鏡 3 0 3 に出力される。軸はずし放物面鏡 3 0 3 に入射した  
10 パルスレーザー光 L 1 は、軸はずし放物面鏡 3 0 3 により集光ポイント P 1 で一  
度集光された後、ND フィルタ 2 1 5 によりエネルギーが減衰されて波面センサ  
2 1 3 に入射される。そして、波面センサ 2 1 3 によりパルスレーザー光 L 1 の  
15 波面が計測される。

【0 0 5 2】 波面センサ 2 1 3 により計測されたパルスレーザー光 L 1 の波面  
の計測データは、記憶部 2 2 0 を介して制御部 2 3 0 に出力される。そして、パ  
ルスレーザー光 L 1 の波面と記憶部 2 2 0 に記憶されている基準波面とが一致す  
るよう 15 制御部 2 3 0 により演算が行われる（制御データの算出）。そして、この  
制御データに応じて形状可変鏡 2 4 2 に付設されているアクチュエータ 2 4 3 が  
駆動部 2 4 1 により駆動され、形状可変鏡 2 4 2 の反射面 2 4 4 の形状が変形さ  
れる。ここで、形状可変鏡 2 4 2 には、電極数 3 1 個、アーチャー径 5 0 mm、  
20 ストローク 2 0  $\mu$ m（ピークバ렐）のバイモルフ型のデフォーマブルミラーを  
利用された。

【0 0 5 3】 以上により、パルスレーザー光 L 1 の波面が基準光 L 2 の波面（基  
準波面）と一致するように補償される。

【0 0 5 4】 ステップ S 1 2 0 では、移動機構 2 5 0 がコリメータ部 2 0 6 a  
及び ND フィルタ 2 1 5 を矢印 A 2 方向に移動し、これによりコリメータ部 2 0  
25 6 a 及び ND フィルタ 2 1 5 がパルスレーザー光 L 1 の光路上から外される。そ  
して、図 6 に示されたように、移動機構 2 5 0 がターゲット部 4 0 を矢印 A 2 方

向に移動し、これによりターゲット部40がパルスレーザー光L1の光路上に配置される。このとき、高速粒子発生ターゲット400は、集光ポイントP1を含む平面上に配置されるので、パルスレーザー光L1の集光ポイントP1が高速粒子発生ターゲット400面上に位置することになる。

- 5 【0055】 次に、高ピークパワーのパルスレーザー光L1がパルスレーザー光発生部10から出力される。このパルスレーザー光L1は、形状可変鏡242に入射し、その波面が形状可変鏡242により補償される。形状可変鏡242から出力されたパルスレーザー光L1は、グレーティング対301によりパルス圧縮され、反射鏡302により反射されて軸はずし放物面鏡303に出力される。
- 10 そして、軸はずし放物面鏡303により集光されて高速粒子発生ターゲット400に照射される。ここで、高強度レーザーL1の波面は、形状可変鏡242により集光ポイントP1において基準波面と一致するように補償されているので、高速粒子発生ターゲット400面上で微小なスポット（直径約10μm）に集光される。
- 15 【0056】 そして、集光されたパルスレーザー光L1が照射された高速粒子発生ターゲット400は、ターゲット表面にレーザープラズマが生成され、このレーザープラズマから高エネルギー電子やイオンなどの高速粒子が生成される。
- 【0057】 ここで、高速粒子の発生メカニズムについて説明する。高ピークパワーのパルスレーザー光L1が高速粒子発生ターゲット400に集光されるとターゲット面上にレーザープラズマが生成される。パルスレーザー光L1は、このプラズマ中を伝搬する時にプラズマ波を形成し、このプラズマ波により電子が加速される。また、強いポンデラモーティブ力によりパルスレーザー光L1の伝搬方向及びその逆方向に電子が加速される。この時、高速粒子発生ターゲット400が十分に薄いと加速電子がターゲットから放出される。また、電子の高エネルギー成分により形成される静電場によってイオンが引き出され、高エネルギーイオンがビーム状にパルスレーザー光L1の伝搬方向及びその逆方向に放出され

る。

【0058】 全体処理の説明に戻ると、高速粒子発生ターゲット400から生成された高エネルギーイオンなどの高速粒子は反応部411に飛翔し、該反応部411において材料供給部412から供給された放射性同位体生成材料に衝突して原子核反応を起す。その結果、種々の放射性同位体を得ることができる。また、反応部411で得られた放射性同位体は、生成物貯蔵部413により回収される。

【0059】 以上のように、この発明に係る高速粒子発生方法によれば、基準光L2の出射ポイントP2、パルスレーザー光L1の集光ポイントP1及び高速粒子発生ターゲット400面の位置それが一致するように移動機構250が各構成要素の設置位置を調節しているので、パルスレーザー光L1の波面が、基準光L2の波面（基準波面）に基づいて高速粒子発生ターゲット400面上の集光ポイントP1において基準波面と一致するように補償される。よって、パルスレーザー光L1が高速粒子発生ターゲット400面上の微小なスポット（約直径 $10\mu m$ ）に集光され、高い集光強度（約 $10^{18}W/cm^2$ ）を得ることができるので、該高速粒子発生ターゲット400から高速粒子を効率良く発生させることが可能となる。

（第2実施例）

【0060】 次に、図7を参照して、この発明に係る高速粒子発生装置の第2実施例について説明する。なお、図7において第1実施例と同一又は同等の構成要素については同一の符号が付されている。

【0061】 この第2実施例は、コリメータ部206bとターゲット部40bの構造、波面計測部210と反応部410の配置において、上述の第1実施例と異なる。

【0062】 コリメータ部206bは、コリメータレンズ211に加えて反射鏡216を備えている点で、また、ターゲット部40bは、同位体生成部410を有しておらず、高速粒子発生ターゲット400のみを備える点で第1実施例と

異なっている。さらに、波面検出部 210 は、コリメータ部 206b に対して基準光 L2 あるいはパルスレーザー光 L1 が反射鏡 216 により反射される方向（図面では右側）に配置され、反応部 410 は、集光ポイント P1 を通過したパルスレーザー光 L1 が直進する方向（図面では下側）に固定されて配置されており、この点で第 1 実施例と異なっている。

【0063】 この第 2 実施例に係る高速粒子発生装置 2 によれば、基準光 L2 及びパルスレーザー光 L1 それぞれの波面を計測するときに、光路上に配置されたコリメータ部 206b に入射した基準光 L2 及びパルスレーザー光 L1 それぞれは、反射鏡 216 により波面計測部 210 の方向へ反射される。そして、反射鏡 216 により反射された基準光 L2 及びパルスレーザー光 L1 それぞれは、波面計測部 210 に入射され、波面センサ 213 により波面が計測される。

【0064】 次に、高速粒子を発生させるときには、移動機構 250 がコリメータ部 206b を矢印 A2 方向に移動し、代わりに、高速粒子発生ターゲット 400 のみを含むターゲット部 40b をパルスレーザー光 L1 の光路上へ配置する。そして、集光されたパルスレーザー光 L1 が高速粒子発生ターゲット 400 に照射されることで、該高速粒子発生ターゲット 400 から高速粒子が発生する。

【0065】 ここで、真空チャンバー 500 内に配置される反応部 410 は、真空時の極低圧と大気圧との圧力差に耐える構造であることが必要とされるため、非常に重量が重い。したがって、この反応部 410 を移動させるためには移動機構も大規模になる。

【0066】 しかしながら、この第 2 実施例に係る高速粒子発生装置 2 によれば、上述のように構成することにより、反応部 410 を固定して配置することが可能になるため、簡易な構造の移動機構 250 が適用可能になる。

（第 3 実施例）

【0067】 次に、図 8 及び図 9 を用いて、この発明に係る高速粒子発生装置の第 3 実施例について説明する。

【0068】 この第3実施例は、LD光源201の代わりにピンホール401及び開放部402を有する基準光生成部（基準光生成手段）203が適用された点において、上述の第1実施例と異なる。

【0069】 基準光生成部203は、強度が十分低下されたパルスレーザー光L1をピンホール401に入射することにより基準光L2を生成する。これは、  
5 レーザー光が微小なピンホール401を通過するときに回折で生じる理想的な球面波を基準波面として利用するためである。

【0070】 この第3実施例に係る高速粒子発生装置3によれば、強度が十分低下されたパルスレーザー光L1をピンホール401に入射することにより生成  
10 された基準光L2を用いて基準波面が計測される。次に、移動機構250が基準波面生成部203を矢印A2方向に移動し、これにより開放部402がパルスレーザー光L1の光軸OA1上に配置され、パルスレーザー光L1の波面が計測される。

【0071】 高速粒子を発生させるときには、移動機構250が基準光源生成部203を矢印A2方向に移動し、代わりに、ターゲット部40をパルスレーザー光L1の光路上へ配置する。そして、集光されたパルスレーザー光L1が高速粒子発生ターゲット400に照射されて、該高速粒子発生ターゲット400から高速粒子が発生する。  
15

【0072】 このように、第3実施例に係る高速粒子発生装置3によれば、ピンホール401を有する基準光生成部203が適用されることにより、基準光L2を容易に得ることができる。  
20

#### （第4実施例）

【0073】 次に、図10及び図11を用いて、この発明に係る高速粒子発生装置の第4実施例について説明する。

【0074】 この第4実施例は、ピンホール401及び開放部402が高速粒子発生ターゲット膜（高速粒子発生ターゲット400を含む）403に形成され  
25

た点、ピンホール401及び開放部402の移動に往復平行移動式の移動機構250に代えて巻き取り式の移動機構250bが適用された点において、上述の第3実施例と異なる。

【0075】 図11に示されたように、高速粒子発生ターゲット膜403は、  
5 例えれば、ポリテトラフルオロエチレン等の含ハロゲン有機化合物を主成分とする  
帯状の多孔質膜が適している。そして、この帯状の多孔質膜の中央部に長手方向  
に沿って、例えれば、重水素化されたポリスチレン等の有機化合物が含浸され、ス  
トライプ状の高速粒子発生ターゲット400が形成されている。さらに、高速粒  
子発生ターゲット膜403には、高速粒子発生ターゲット400と同一直線上に  
10 パルスレーザー光L1を通過させる開放部402及び基準波面を生成するための  
ピンホール401が形成されている。

【0076】 高速粒子発生ターゲット400は、ガイド部404(ターゲット  
部に相当)により所定の平面上(この第4実施例では光軸OA1と直交する平面)  
に保持される。一方、円柱形状をした移動機構250bは、駆動機構により矢印  
15 A4方向に回転されることにより高速粒子発生ターゲット膜403を巻き取る。  
これにより、高速粒子発生ターゲット400、ピンホール401及び開放部402は、矢印A3方向(高速粒子発生ターゲット400の長手方向)に移動する。

【0077】 この第4実施例に係る高速粒子発生装置4によれば、移動機構250bによりピンホール401がパルスレーザー光L1の光軸OA1上に配置さ  
れた状態で基準光L2の波面が計測される一方、移動機構250bにより開放部402がパルスレーザー光L1の光軸OA1上に配置された状態でパルスレーザー光L1の波面が計測される。そして、移動機構250bにより高速粒子発生ターゲット400がパルスレーザー光L1の光軸OA1上に配置され、該高速粒子発生ターゲット400から高速粒子が生成される。

25 【0078】 高速粒子発生ターゲット400にパルスレーザー光L1が照射さ  
れたとき、その照射領域には穴が開き、同じ照射領域は再利用することができな

い。しかしながら、移動機構 250 b により高速粒子発生ターゲット 400 を巻き取り、高速粒子発生ターゲット 400 を矢印 A 3 方向に移動させることにより、新しいターゲット面がセットされる。

【0079】 この第 4 実施例に係る高速粒子発生装置 4 によれば、高速粒子発生ターゲット 400 面と同一平面上に形成されたピンホール 401 及び開放部 402 を用いてパルスレーザー光 L1 及び基準光 L2 それぞれの波面の計測並びにパルスレーザー光 L1 の波面の補償が行われるので、パルスレーザー光 L1 の波面の補償を高い位置精度で行うことが可能になる。

(第 5 実施例)

【0080】 次に、図 12 を参照して、この発明に係る高速粒子発生装置の第 5 実施例について説明する。

【0081】 この第 5 実施例は、LD 光源 201 の代わりに、ストライプ状のターゲット領域 400 と同一直線上にピンホール 401 及び開放部 402 が形成された高速粒子発生ターゲット膜 403 が適用された点において、上述の第 2 実施例と異なる。

【0082】 このような構成により、反応部 410 が固定配置可能になるので、移動機構 250 が不要になり、構成の簡易化が実現される。また、パルスレーザー光 L1 の波面の補償を高い位置精度で行うことが可能になる。

【0083】 なお、高速粒子発生ターゲットから効率良く高速粒子を発生させるためには、次のような方法も効果的である。すなわち、形状可変鏡 242 の反射面 244 の形状を変化させ、そのときのパルスレーザー光 L1 の波面を記憶するとともに、反応部 410 で得られる生成物の量を計測する。そして、より多くの生成物が得られる波面の条件を検索することにより、最適なパルスレーザー光 L1 の波面条件を取得する。そして、この最適な波面を基準波面として記憶し、パルスレーザー光 L1 の波面をこの基準波面と一致させるように波面補償を行う。これにより、高速粒子発生ターゲットからより効率良く高速粒子を発生させるこ

とができる。

**【0084】** 以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想および範囲から逸脱するものとは認めることはできず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲に含まれるものである。

#### 産業上の利用可能性

**【0085】** 以上のようにこの発明によれば、パルスレーザー光を高速粒子発生ターゲット面の微小なスポットに集光させることにより、該高速粒子発生ターゲットから高速粒子を効率良く発生させることができる高速粒子発生方法及び高速粒子発生装置が得られる。

## 請求の範囲

1. パルスレーザー光発生器から発せられたパルスレーザー光を照射光学系を介して所定の集光ポイントに集光し、所定の集光ポイントにセットされた高速粒子発生ターゲットに該パルスレーザー光を照射することにより、該高速粒子発生ターゲットから高速粒子を発生させる高速粒子発生方法において、  
5

前記所定の集光ポイントから基準光を発し、該基準光の波面を波面計測器により計測し、そして、計測された前記波面を基準波面として記憶する第1ステップと、

10 前記パルスレーザー光発生器から発せられ、前記所定の集光ポイントを通過した前記パルスレーザー光の波面を前記波面計測器により計測する第2ステップと、そして、

前記パルスレーザー光発生器からの前記パルスレーザー光の波面を前記基準波面に基づいて補償する第3ステップとを備えた高速粒子発生方法。

15 2. パルスレーザー光の照射に起因してレーザープラズマが生成されることにより高速粒子を発生させる高速粒子発生ターゲットを所定位置に保持するターゲット部と、

前記パルスレーザー光を発生させるパルスレーザー光発生器と、

前記パルスレーザー光の波面を補償する波面補償部と、

20 前記波面補償システムにより波面が補償された前記パルスレーザー光を所定の集光ポイントに集光する照射光学系とを備えた高速粒子発生装置であって、

前記波面補償部は、

前記パルスレーザー光を反射または屈折させる光学素子の光学作用部が変形可能に構成された可変形光学系と、

前記所定の集光ポイントから基準光を発する基準光源と、

25 前記基準光の波面と前記所定の集光ポイントを通過した前記パルスレーザー光の波面をそれぞれ計測する波面計測器と、

前記波面計測器により計測された前記基準光の波面を基準波面として記憶する記憶部と、

前記波面計測器により計測された前記パルスレーザー光の波面と前記基準波面とに基づいて前記光学作用部を変形させることにより、前記パルスレーザー光の  
5 波面を補償する可変形光学系制御部と、

前記基準光の出射位置が前記所定の集光ポイントに一致するよう前記基準光源を移動させるか、あるいは、前記高速粒子発生ターゲットが前記所定の集光ポイントを含む平面に一致するよう前記ターゲット部を移動させる移動機構とを有する高速粒子発生装置。

10 3. パルスレーザー光の照射に起因してレーザープラズマが生成されることにより高速粒子を発生させる高速粒子発生ターゲットを所定位置に保持するターゲット部と、

前記パルスレーザー光を発するパルスレーザー光発生器と、

前記パルスレーザー光の波面を補償する波面補償システムと、

15 前記波面補償システムにより波面が補償された前記パルスレーザー光を所定の集光ポイントに集光する照射光学系とを備えた高速粒子発生装置であって、

前記波面補償システムは、

前記パルスレーザー光を反射または屈折させる光学素子の光学作用部が変形可能な構成された可変形光学系と、

20 前記パルスレーザー光が通過することにより前記所定の集光ポイントから基準光を発するピンホールを有する基準光生成部と、

前記基準光及び前記所定の集光ポイントを通過した前記パルスレーザー光それぞれの波面を計測する波面計測器と、

前記波面計測器により計測された前記基準光の波面を基準波面として記憶する記憶部と、  
25

前記波面計測器により計測された前記パルスレーザー光の波面と前記基準波面

とに基づいて前記光学作用部を変形させることにより、前記パルスレーザー光の波面を補償する可変形光学系制御部と、

前記基準光生成部及び前記高速粒子発生ターゲットを保持したターゲット部それぞれを前記所定の集光ポイントを含む平面上に移動させる移動機構とを有する  
5 高速粒子発生装置。

4. 請求項 3 記載の高速粒子発生装置において、

前記高速粒子発生ターゲットは膜状のターゲット部材の表面に構成され、

前記ターゲット部材には前記パルスレーザー光を通過させる開放部及び前記ピ  
ンホールが形成され、

10 前記開放部を通過した前記パルスレーザー光の波面が前記波面計測器により計  
測される。

図1

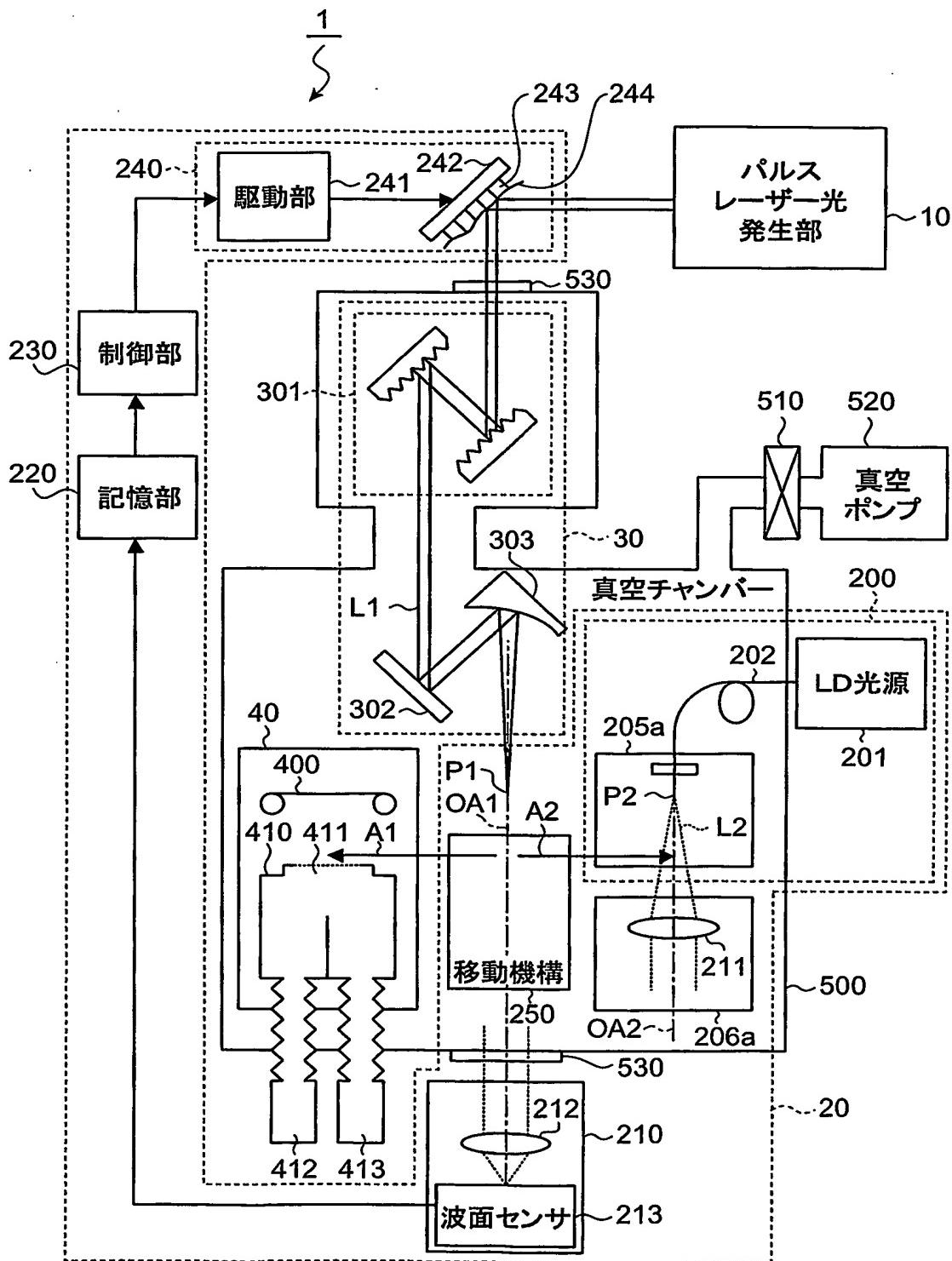


図2

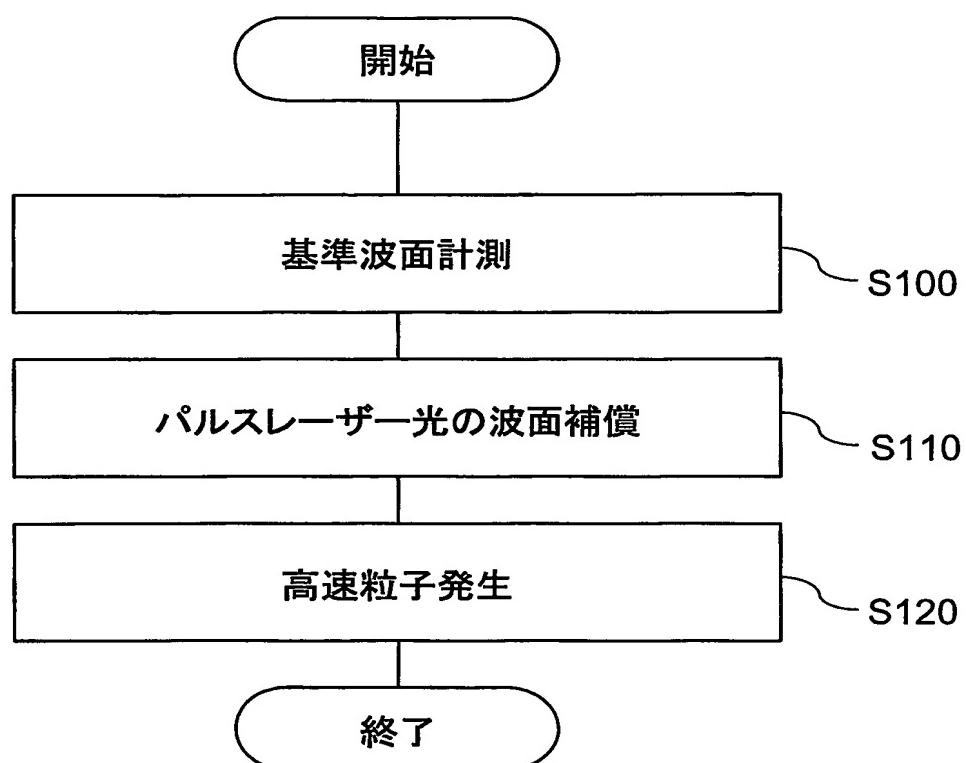


図3

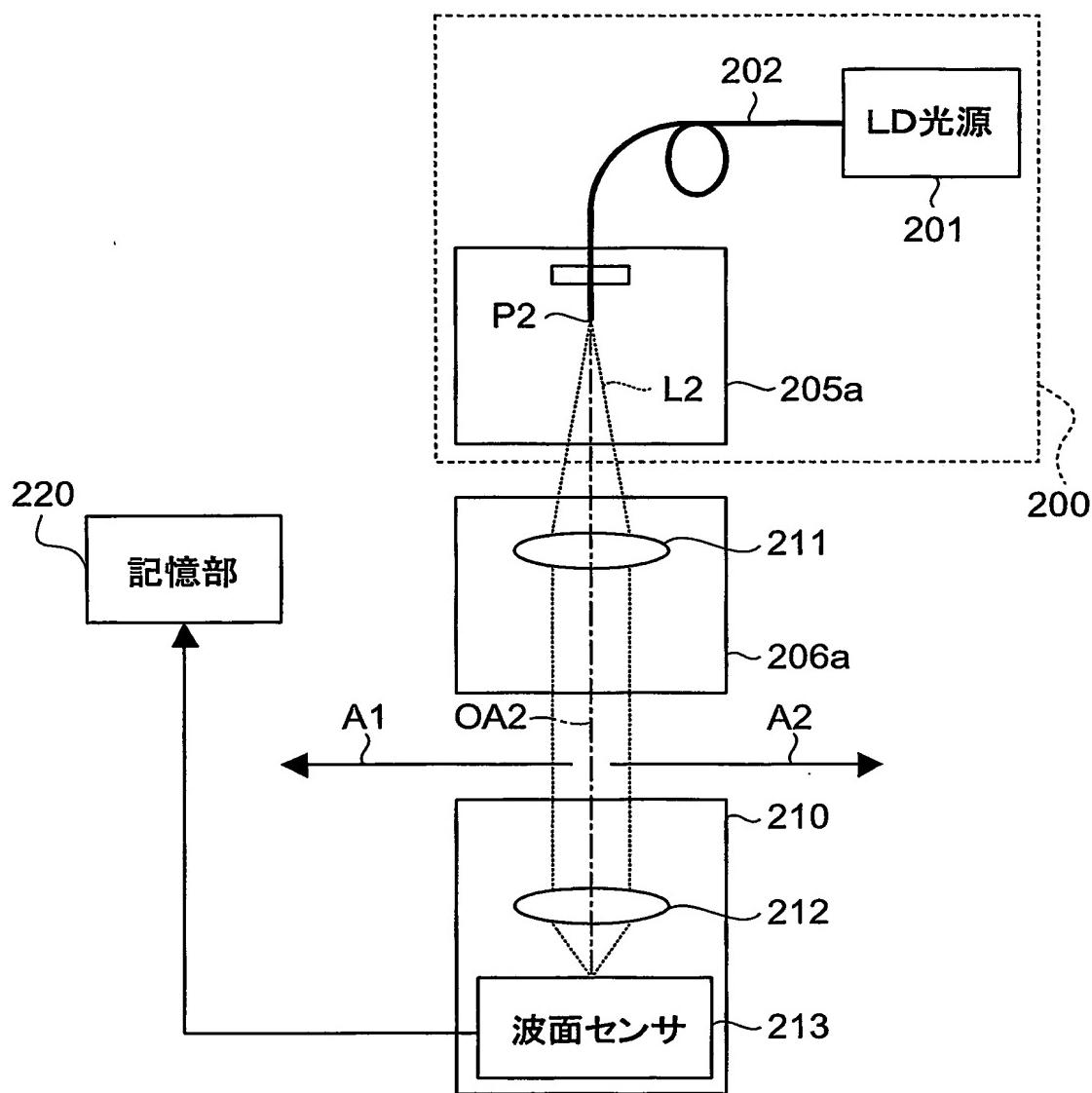


図4

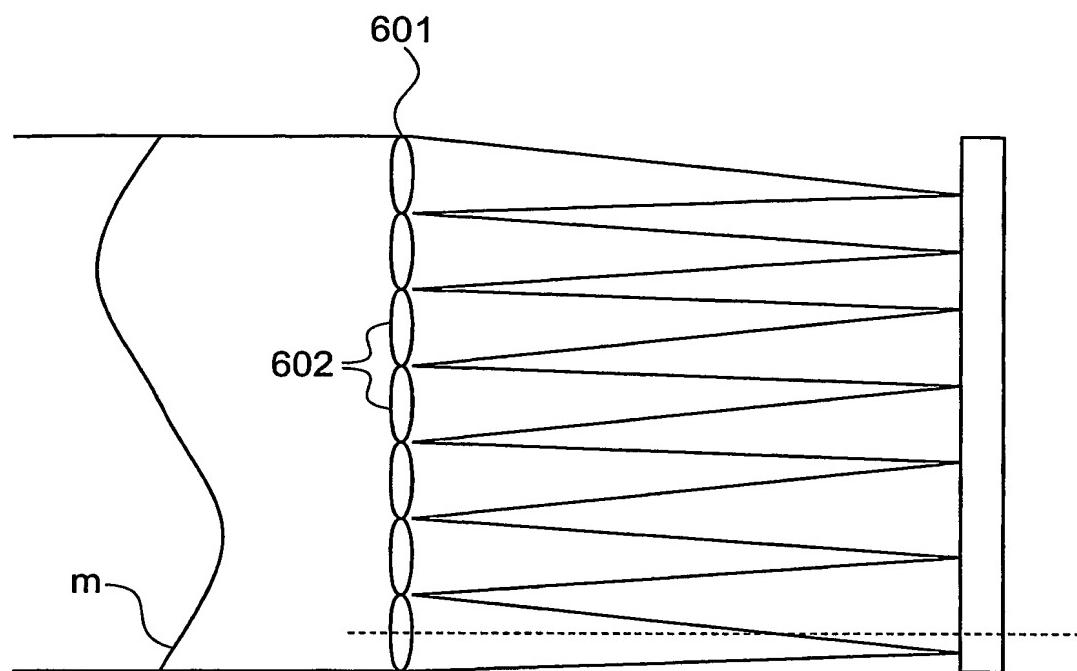
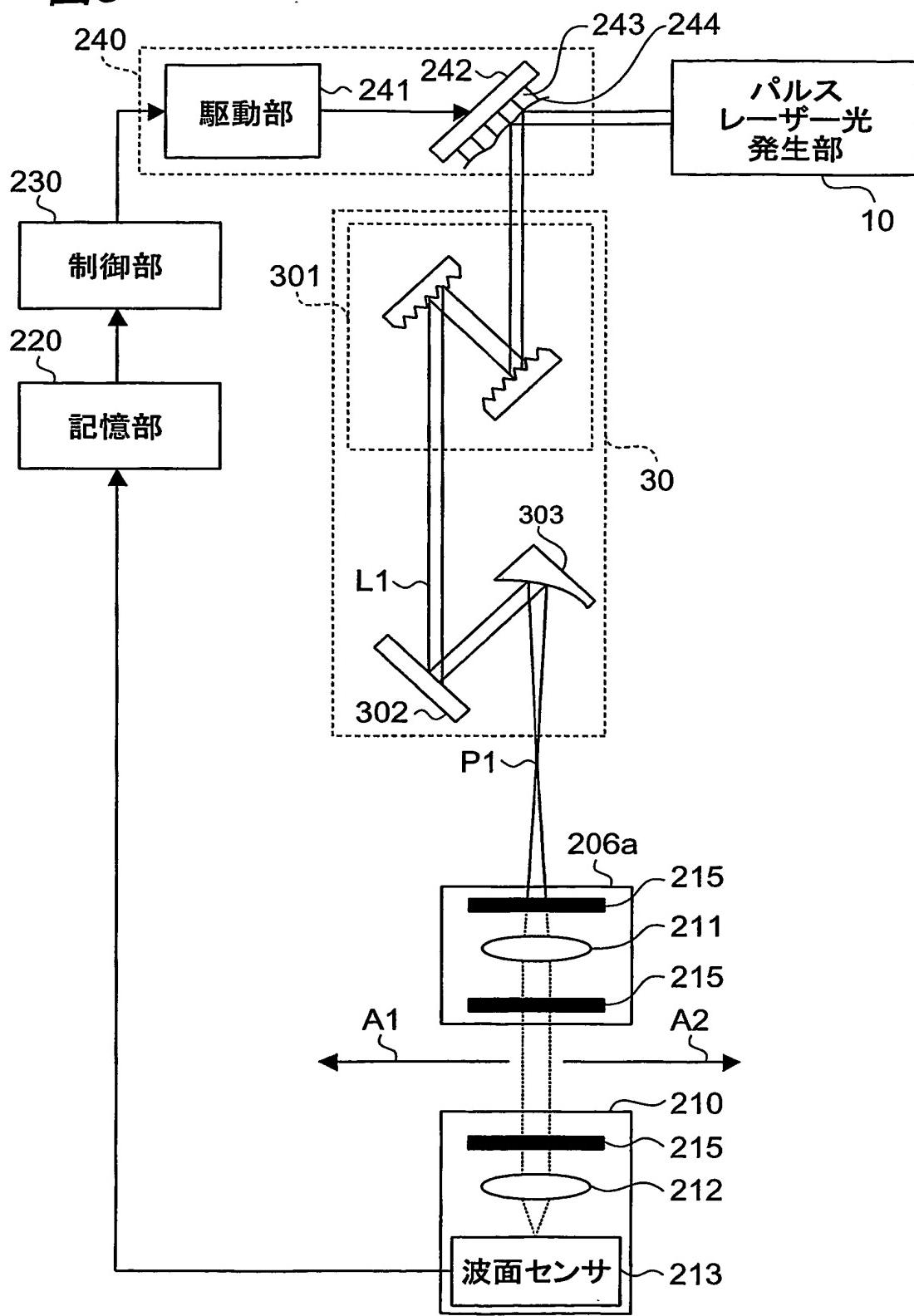


図5



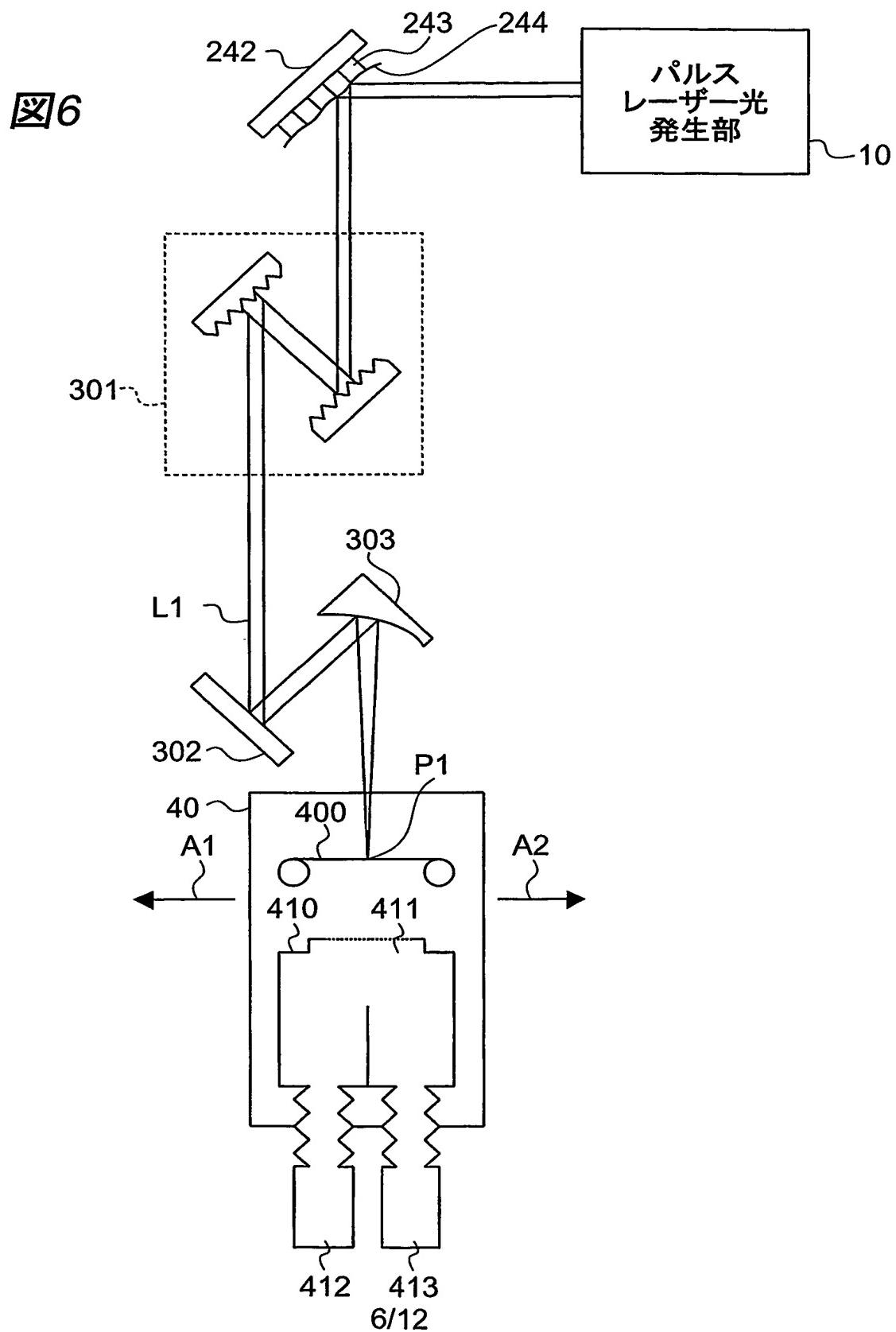


図7

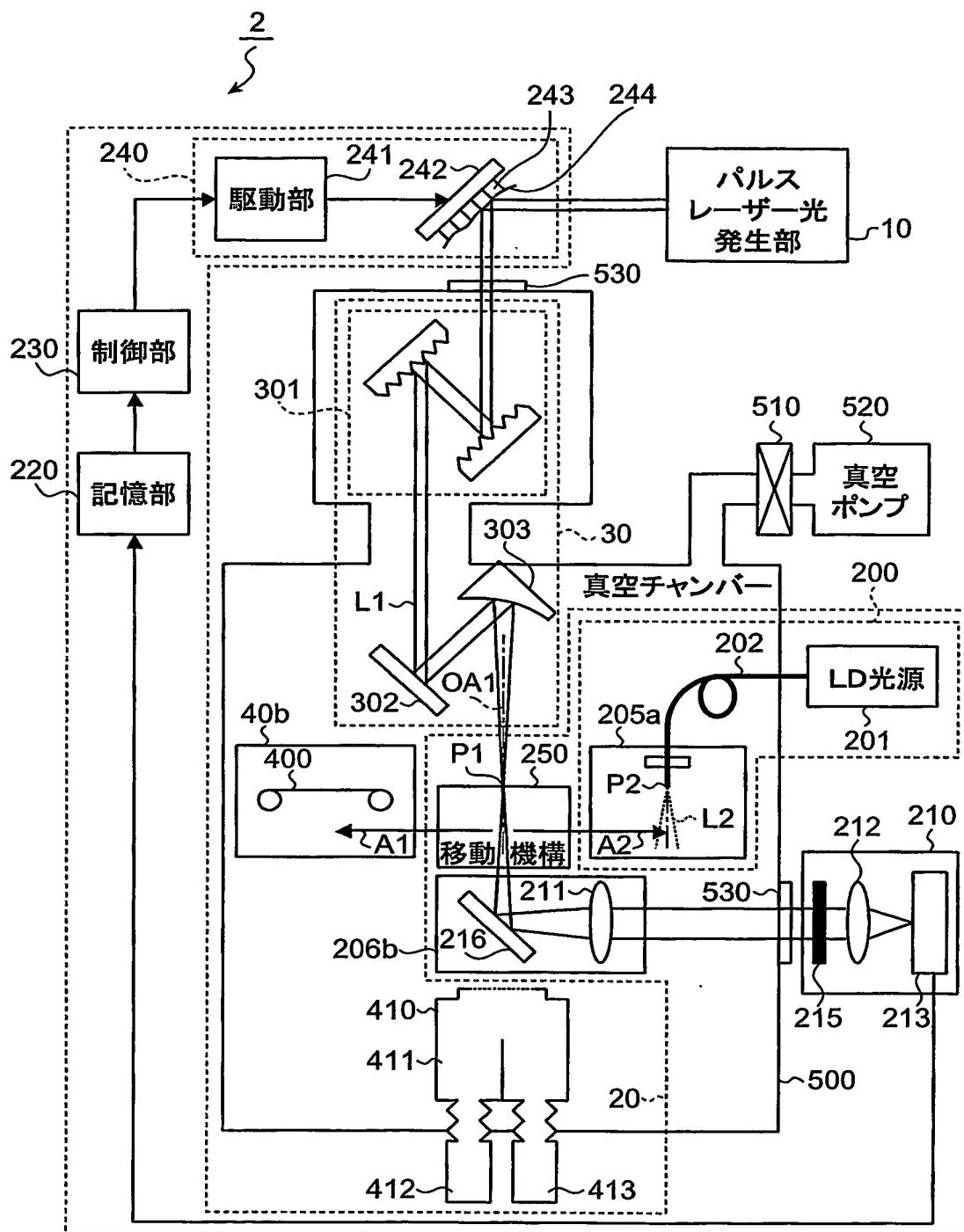


図8

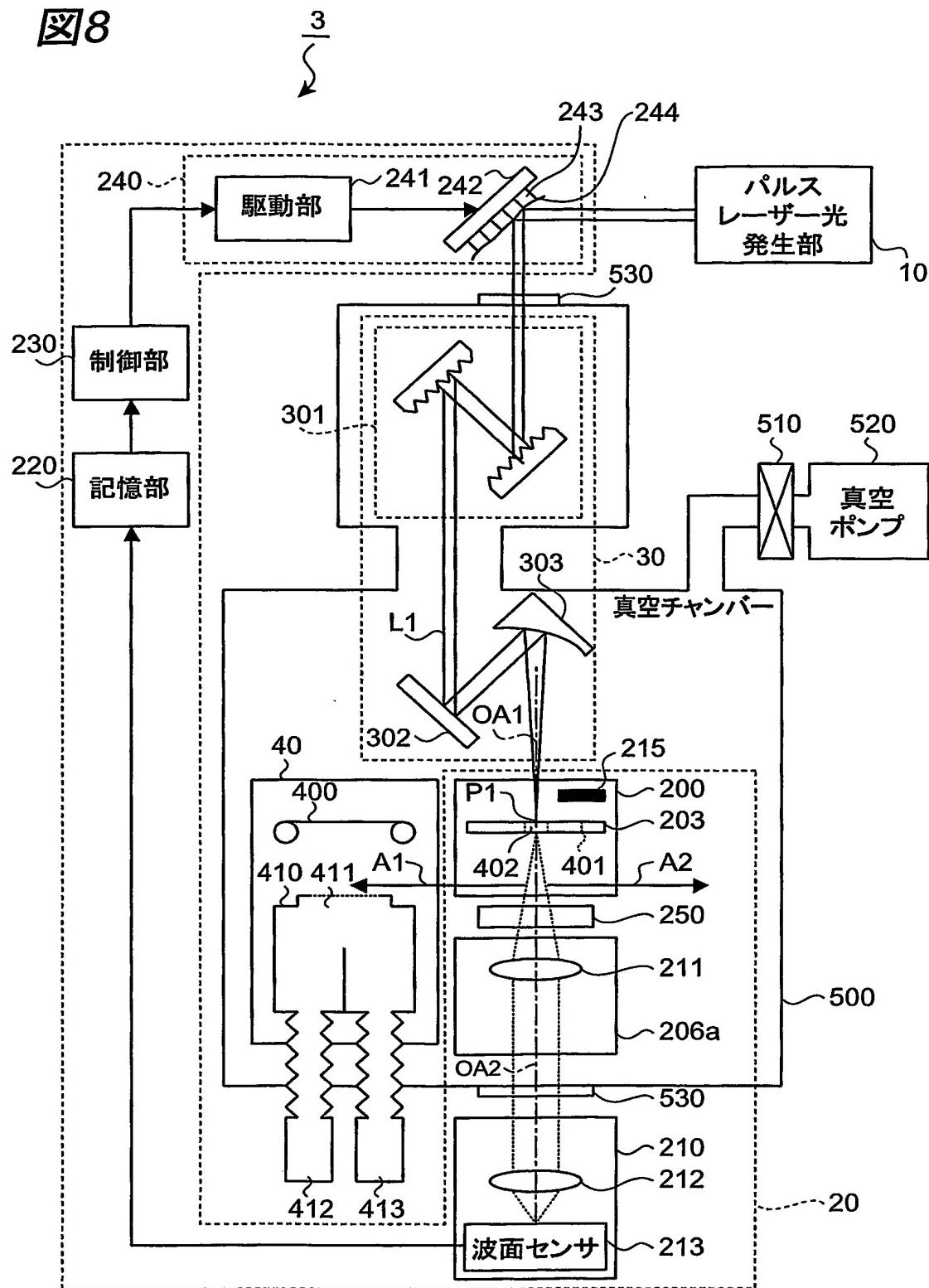


図9

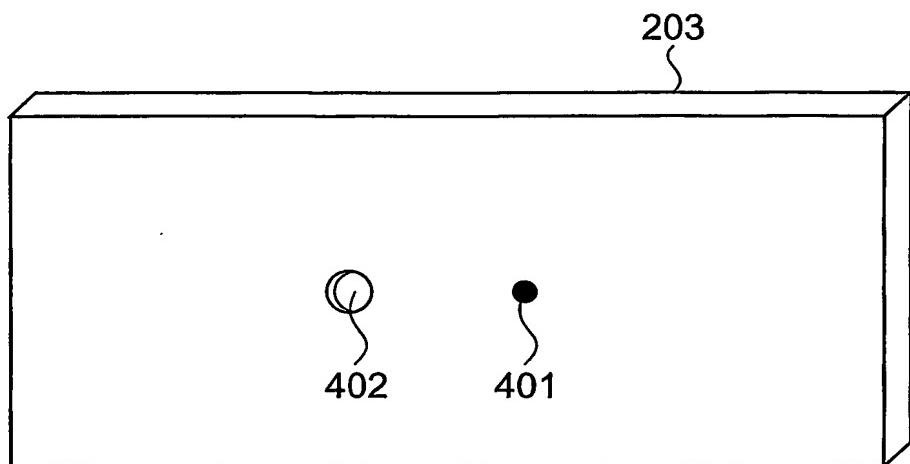


図10

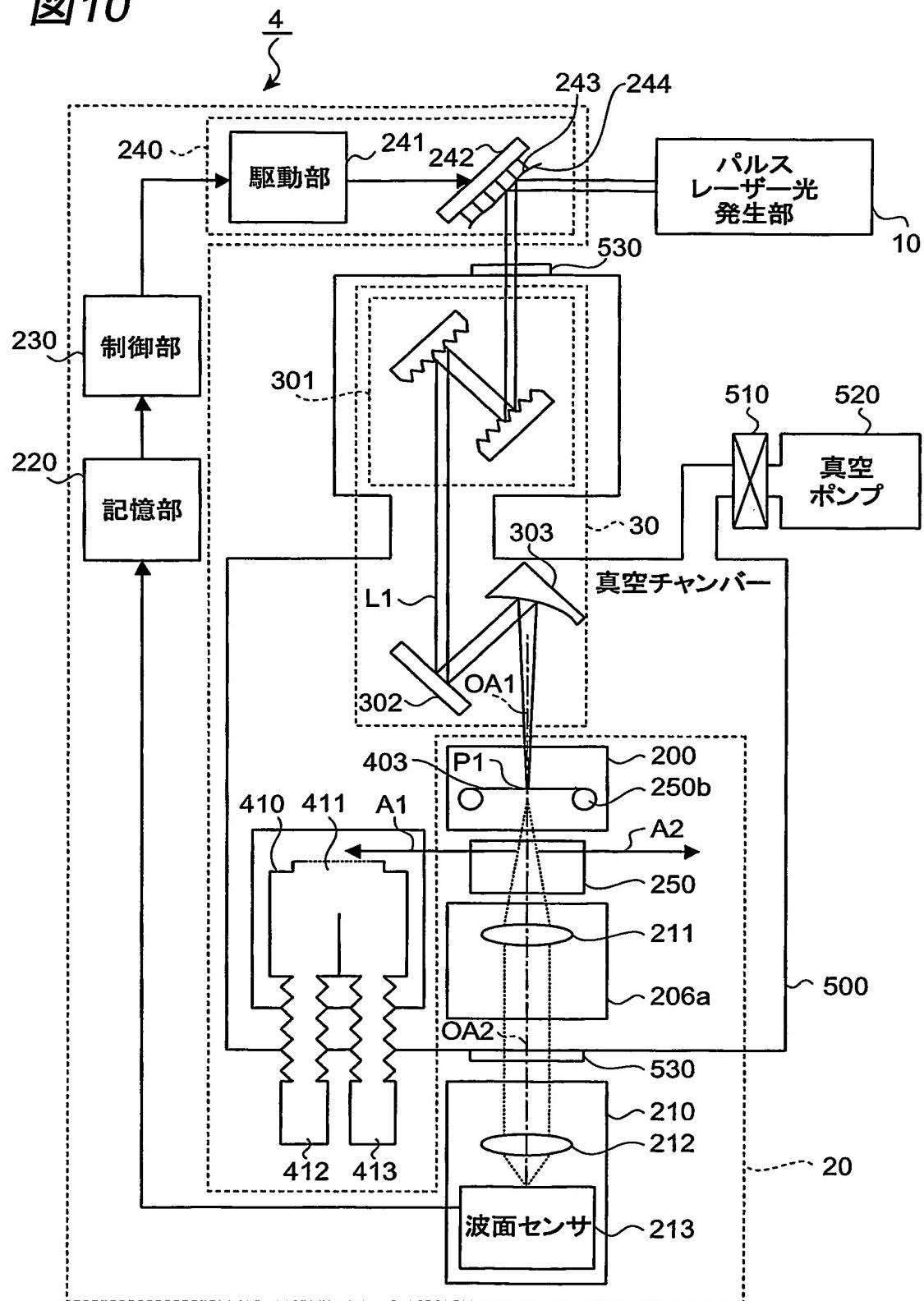


図11

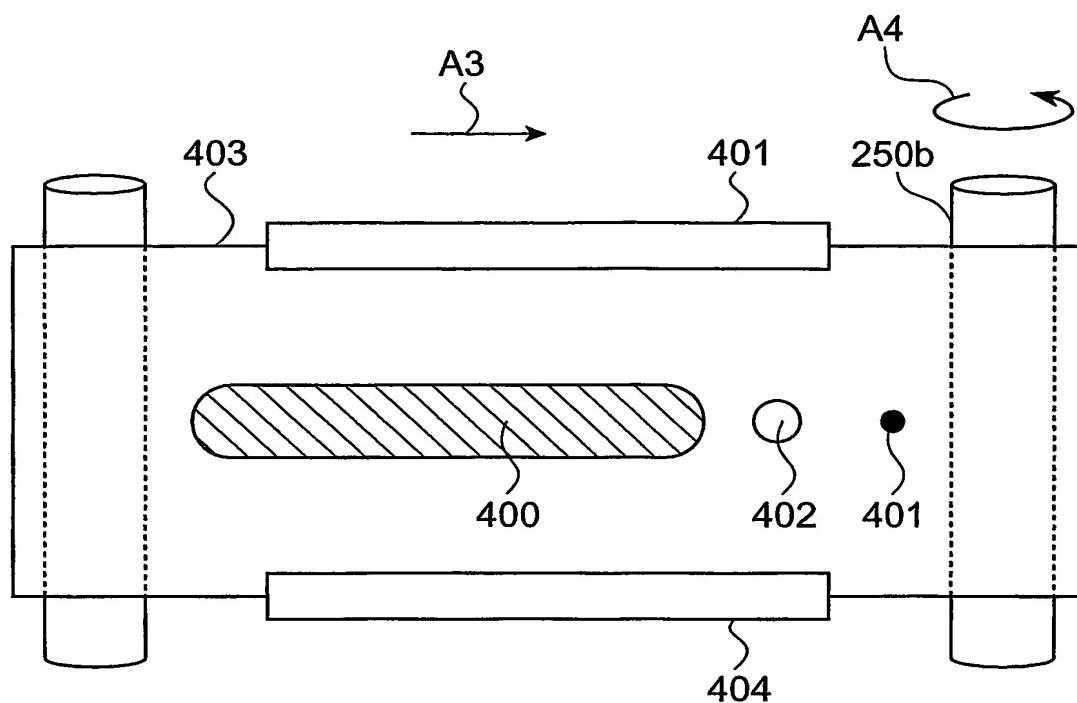
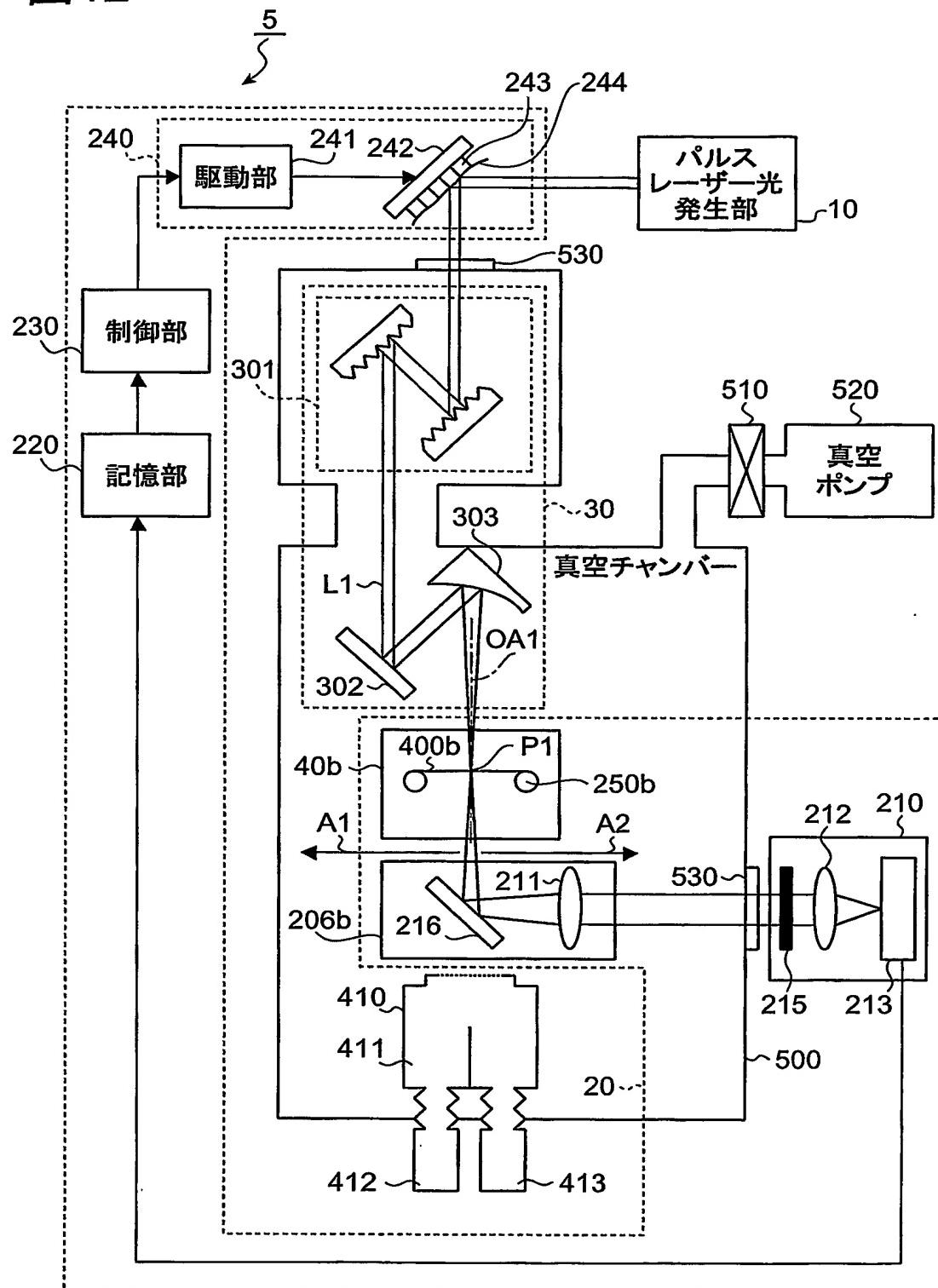


図12



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP03/16402

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl<sup>7</sup> G21K1/00, H05H1/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G21K1/00, H05H1/24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
 Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A         | Katsuaki Akaoka, Closed loop wavefront correction of Ti: sapphire Chirped Pulse Amplification laser beam, SPIE, January 1998, Vol.3265, pages 219 to 225 | 1-4                   |

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

- \* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "B" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
19 January, 2004 (19.01.04)

Date of mailing of the international search report  
03 February, 2004 (03.02.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl' G21K1/00, H05H1/24

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. Cl' G21K1/00, H05H1/24

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1926-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2003年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2003年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2003年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示   | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|------------------|
| A               | Katsuaki Akaoka, Closed loop wavefront correction of Ti:sapp hire Chirped Pulse Amplification laser beam, SPIE, January 1 998, Vol. 3265, pages 219-225 | 1-4              |

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19. 01. 04

国際調査報告の発送日

03. 2. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

大熊 靖夫

2M 9710



電話番号 03-3581-1101 内線 6499